



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**Mikrokapsül Uygulanmış Kumaşların Transfer ve Fonksiyonel Özelliklerinin İncelenmesi**

**Investigation of Transfer and Functional Properties of the Microcapsule Applied Fabrics**

Ömer Faruk CENGİZ<sup>1</sup>, İslam ERKALE<sup>1</sup>, Simge ÖZKAYALAR<sup>1</sup>, Sennur ALAY AKSOY<sup>1</sup>, Bekir BOYACI<sup>2</sup>, Sibel KAPLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Sun Tekstil A.Ş., İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Eylül 2019 (30 September 2019)

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Ömer Faruk CENGİZ, İslam ERKALE, Simge ÖZKAYALAR, Sennur ALAY AKSOY, Bekir BOYACI, Sibel KAPLAN (2019): Mikrokapsül Uygulanmış Kumaşların Transfer ve Fonksiyonel Özelliklerinin İncelenmesi, Tekstil ve Mühendis, 26: 115, 243-251.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920192611504>

**Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :**

<https://orcid.org/0000-0002-5878-6726>



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## MİKROKAPSÜL UYGULANMIŞ KUMAŞLARIN TRANSFER VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer Faruk CENGİZ<sup>1</sup>

İslam ERKALE<sup>1</sup>

Simge ÖZKAYALAR<sup>1</sup>

Sennur ALAY AKSOY<sup>1\*</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-5878-6726>

Bekir BOYACI<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-4557-0990>

Sibel KAPLAN<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-7247-135X>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye  
<sup>2</sup>Sun Tekstil A.Ş., İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 10.04.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 30.07.2019

**ÖZET:** Bu çalışmada, kompleks koaservasyon metodu ile üretilen ve n-oktadekan içeren, jelatin/arap zamkı/nano çinko oksit ve kitosan/arap zamkı/nano çinko oksit duvarlı mikrokapsüller emdirme metodu ile pamuklu kumaşlara uygulanmıştır. Mikrokapsüllerin duvar yapılarındaki çinko oksit parçacıklarının kumaşların güç tutuşurluk ve antibakteriyel özelliklerini geliştirip geliştirmediği araştırılmıştır. Ayrıca, mikrokapsül aplikasyonu sonrası kumaşların hava geçirgenliği, sıvı transfer ve emicilik gibi özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Sonuçta, mikrokapsül aplikasyonu sonrası kumaşların yanma eğilimleri azalmış ve kumaşlar gram-pozitif bakterilere karşı antibakteriyel etki kazanmıştır. Mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenliği, su emicilik ve sıvı transfer özellikleri azalmıştır. Ayrıca, kumaşların su emicilik ve transfer özelliklerinin binder, yumuşatıcı ve kapsül duvar polimer yapıları ile de ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrokapsül, nano çinko oksit, güç tutuşurluk, antibakteriyel, su emicilik

## INVESTIGATION OF TRANSFER AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE MICROCAPSULE APPLIED FABRICS

**ABSTRACT :** In this study, gelatin/gum arabic/nano zinc oxide and chitosan/gum arabic/nano zinc oxide walled microcapsules which were produced by complex coaservation method and containing n-octadecane, were applied to cotton fabrics by pad-dry-cure method. It has been investigated whether zinc oxide particles in microcapsule wall improved the flame retardancy and antibacterial properties of the fabrics. In addition, the changes in the fabric properties such as air permeability, liquid absorbency and transfer were examined after the microcapsule application. Consequently, after the microcapsule application, the burning tendency of fabrics decreased, and they gained an antibacterial effect against gram-positive bacteria. Air permeability, water absorption and liquid transfer properties of microcapsule treated fabrics decreased. Besides, water absorption and transfer properties of the fabrics were found to be associated with binder, softener and the microcapsule wall polymer structures.

**Keywords:** microcapsules, nano zinc oxide, flame retardant, antibacterial, water absorption.

**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** [sennuralay@sdu.edu.tr](mailto:sennuralay@sdu.edu.tr)

**DOI:** 10.7216/1300759920192611504, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Giysi, insan ile yaşadığı çevre arasında koruyucu bir katman görevi yapmaktadır. İnsanın yaşadığı ortamın iklim şartlarına uyum gösterebilmesinde, kendini iyi ve konforlu hissetmesinde giysinin önemi büyüktür. Giysi, giyen kişinin hem fizyolojik hem de psikolojik olarak rahatlığını etkilemektedir. Örneğin giysinin hareket rahatlığı vermesi, görünüm, estetik ve dokunsal özellikleri ile psikolojik açıdan kişiyi mutlu hissettirmesi insanın yaşadığı çevreye uyumunu olumlu\* etkilemektedir. Giysilerin giyen kişi üzerinde oluşturduğu tüm etkiler ve işlevleri 'giysi konforu' olarak tanımlanmaktadır [1-3]. Giyside konfor kişinin yaşam standardını yükseltmeye yönelik olduğu için, giysi konforunun iyileştirilmesi hem araştırmacıların hem de sektördeki üreticilerin ilgisini çekmektedir [4]. Özellikle insanların direkt temas halinde olduğu giyim ve ev tekstilleri gibi ürünlerde konfor önemle aranan bir kalite parametresi haline gelmiştir.

İdeal bir giysilik kumaşın, ısı konfor açısından sahip olması gereken özellikler [4]:

- Soğuktan korunmak için yüksek termal direnç,
- Ilıman iklim koşullarında etkili ısı transferi için su buharı direncinin düşüklüğü,
- Terleme nedeniyle rahatsızlık hissini önlemek için sıvı taşıma özelliğinin yüksek olması olarak sıralanmaktadır.

Son yıllarda, ısı konforu geliştirmek için kumaş yapısal parametreleri ile ilişkili araştırmalara ilave olarak farklı özellikleri ihtiva eden polimerik malzemelerin giysi materyallerine uygulanması konusunda araştırmalar dikkat çekmektedir. Bu malzemeler uyarıcıya duyarlı akıllı özellik sunmakta ve günlük giysilerden ziyade koruma fonksiyonu da içeren giysilerde önem arz etmektedir. Bu materyaller arasında; sıcaklık değişimine duyarlı olarak değişken su buharı geçirgenliği özelliği sunan şekil hafıza özellikli polimerik kaplamalar [5-8] ve sıcaklık değişimine bağlı olarak ısı depolama/yayma özellikleri sergileyen faz değiştiren madde içeren mikrokapsüller önemli yere sahiptir [9-17]. Bu malzemelerin tekstil yapısal parametrelerinden farklı olarak giysiye kazandırdığı özellikler, çevre sıcaklık değişimlerine karşı ayarlanabilir yalıtım ve geçirgenlik özellikleri sunarak ısı regülasyonu yapmalarıdır.

Faz değiştiren maddeler, belirli bir sıcaklık aralığında erime ve katılaşma prosesleri boyunca depoladıkları ve yaydıkları gizli ısı sayesinde dinamik yalıtım, ısıtma, serinletme ve ısı regülasyon özellikleri sunabilmektedirler [18]. Bu özellikleri ile giysilere termal konfor geliştirmek amacıyla lif veya kumaşlara mikrokapsüllenmiş FDM uygulanmaktadır [19]. Kumaşlara uygulanan bitim işlemleri sonucunda, giysi termal konfor özellikleri ile ilişkili su emme ve transfer özelliklerinin uygulanan bitim maddesinin yapısına göre olumlu veya olumsuz yönde değiştiği görülmektedir [20, 21]. Benzer şekilde, mikrokapsüllenmiş FDM uygulaması sonucunda da lifli yapıya dahil edilen mikrokapsüllerin yapısı ve aplikasyon koşullarına

bağlı olarak kumaşın termofizyolojik konfor ile ilişkili su emme ve transfer özellikleri değişmektedir. Literatürde, faz değiştiren madde uygulanmış kumaşların termal özelliklerinin ve dokunsal konfor ile ilgili kumaş fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması ile ilgili çalışmalar mevcuttur [10, 11, 16, 22, 23]. Ancak, mikrokapsül uygulanmış kumaşların fonksiyonel özellikleri [24, 25] ve transfer özelliklerinin araştırıldığı çalışmalar sınırlı sayıdadır [11,22,26-28]. Mikrokapsüllenmiş FDM içeren kumaşların transfer özelliklerinin araştırıldığı çalışmalarda kumaşların hava ve su buharı geçirgenliğinin azaldığı ve bunun kumaş gözeneklerinin mikrokapsül parçacıkları ile doldurulmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ancak kumaşların nem tutma kapasitesinin mikrokapsül duvar polimerinin ve mikrokapsül aplikasyonu sırasında kullanılan binderin hidrofilik karakteri ile ilişkili olarak artma eğilimi sergileyebileceği ortaya konulmuştur [11,22]. Mikrokapsül aplikasyonu ile kumaş fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi üzerine yapılan araştırmalarda, kompleks koaservasyon metodu ile üretilen, jelatin/sodyum alginat duvarı, n-eykosan (FDM) çekirdekli, duvar yapısına nanokil takviye edilen mikrokapsüllerin duvar yapısının termal direncinin arttığı ve mikrokapsüllerin pamuklu kumaşların güç tutuşurluk özelliklerini geliştirdiği ortaya konulmuştur [24]. Benzer şekilde, kitosan polimer yapısına nanokil takviye edilerek üretilen mikrokapsüllerin duvar yapısının termal dayanıklılığının kil varlığından kaynaklı olarak geliştiği belirlenmiştir [25]. Mikrokapsüllenmiş FDM içeren kumaşların ısı ve nem transfer özelliklerinin incelendiği diğer araştırmalarda ise FDM varlığından kaynaklanan dinamik ve statik ısı transfer ve nem transfer özelliklerini belirlemeye yönelik teorik modellerin geliştirildiği görülmektedir [26-28].

Bu çalışmada, literatürde mevcut araştırmalardan farklı olarak, üretim sırasında mikrokapsül duvar yapısına nano çinko oksit parçacıkları ilave edilmiş ve bu mikrokapsüllerin kumaşlara ısı düzenleme özelliği kazandırmanın yanında, antibakteriyel aktivite ve güç tutuşurluk özelliği geliştirme etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, mikrokapsüllenmiş faz değiştiren madde uygulanmış ve ısı düzenleyen (termoregülasyon) kumaşların termofizyolojik konfor ile ilişkili transfer özellikleri de araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan mikrokapsüllerin içerdiği faz değiştiren madde (FDM) nedeniyle sahip olduğu ısı depolama/yayma özelliğinden farklı olarak güç tutuşurluk ve antibakteriyel aktivite gibi fonksiyonel özellikleri de kumaşa aktarması beklenmektedir.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Mikrokapsül Uygulaması

Bu çalışmada, % 100 pamuklu (19 çubuk/cm, 13 sıra/cm, 218.829 g/m<sup>2</sup>), ön terbiye işlemi görmüş süprem örme kumaşa emdirme metodu ile ısı depolama/yayma özellikli mikrokapsüller uygulanmıştır. Kullanılan kapsüller daha önceki çalışma kapsamında üretilen, nano çinko oksit ile takviye edilmiş kitosan ve arap zamkı polimer çifti ile jelatin ve arap zamkı polimer çiftinden oluşan duvar yapısına sahiptirler. Mikrokapsüller çekirdek madde olarak n-oktadekan parafin içermektedirler [29].

Kumaşlara mikrokapsül uygulama çalışmalarında mikrokapsül konsantrasyonu 300 g/L olarak kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin kumaşlara uygulanmasında 60 g/L yumuşatıcı (Perrustol VNO, Rudolf Duraner), 60 g/L çapraz bağlayıcı (TanaPur One, Tanatex Chemicals) ve 6 g/L katalizör kullanılmıştır. Mikrokapsül uygulanmış kumaşlar 80 °C de 5 dakika kurutulduktan sonra 120 °C de 1 dakika fikse edilmişlerdir [29].

## 2.2. Kumaş Testleri

### 2.2.1. Güç Tutuşurluk

Çalışma kapsamında mikrokapsül uygulanmış kumaşların güç tutuşurluk testleri 45° eğimli güç tutuşurluk test cihazında (BV AFC Auto marka) ASTM D1230-94 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu testin amacı 45° eğimli konumda tutuşturulan numunelerde, numunenin tutuşma süresini ve yanma süresini belirlemektir.

### 2.2.2. Antibakteriyel Aktivite Tayini

Mikrokapsül uygulanmış kumaş numunelerinin antibakteriyel aktivitesi ASTM E2149 test yöntemine göre belirlenmiştir. Bu testte antibakteriyel etkinlik derecesi kantitatif olarak belirlenmekte ve antibakteriyel etkinlik çözeltide yaşayan mikroorganizma koloni sayısına göre değerlendirilmektedir. Yöntemde belirli sayıda bakteri aşılana örnekte 1 saat, 3 saat ve 24 saat sonraki bakteri sayılarındaki azalma miktarı yüzde olarak hesaplanmaktadır. Antibakteriyel aktivite tayininde, gram-pozitif bakteri suşu olarak *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) ve gram-negatif bakteri suşu olarak *Escherichia coli* (ATCC 35218) seçilmiştir.

### 2.2.3. Hava Geçirgenliği Testi

Mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerlerindeki değişim Textest FX3300 hava geçirgenlik test cihazı kullanılarak TS 391 EN ISO 9237 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Kumaş numuneleri 20 cm<sup>2</sup>'lik test başlığı kullanılarak 100 kPa basınç altında teste tabi tutulmuş ve her bir numunenin 10 farklı bölgesinde test tekrarlanarak ortalama değer hesaplanmıştır.

### 2.2.4. Sıvı Emme ve Transfer Testleri

Mikrokapsül uygulaması sonrası kumaşların sıvı emme ve transfer özelliklerindeki değişimi belirlemek için çeşitli yöntemlerle testler gerçekleştirilmiştir.

**a. Su Emme Süresi (Damla) Testi:** Mikrokapsül uygulanmış ve uygulanmamış kumaşların sıvı emme davranışları AATCC – 79 standardına göre, belirtilen şartlarda kumaşın test sıvısı ile tamamen ıslanıp sıvıyı iç yapısına alması için gereken sürenin ölçülmesiyle belirlenmiştir. Güvenilir sonuçlar için 25'er tekrarlı olarak yapılan test sonuçlarının değerlendirildiği standarda göre, kumaş su emicilik süresi ortalama 5 saniyeden daha az olan kumaşlar hidrofil olarak kabul edilmektedir.

**b. Su Emme Kapasitesi ve Kuruma Hızı:** AATCC-199 standardına göre yapılan su emme kapasitesi testinde, 10x10 cm boyutlarındaki numuneler kondisyonlanmış kuru ağırlıkları

tartıldıktan sonra 30 dakika saf su içerisinde tamamen ıslanma gerçekleşene kadar bekletilmişlerdir. Çıkarılan kumaşlar üzerindeki fazla su filtre kağıdıyla uzaklaştırıldıktan sonra kumaşların yaş ağırlıkları belirlenmiş, yaş ve kuru ağırlıklar arasındaki farkın kuru ağırlığa oranından emme kapasiteleri belirlenmiştir. Daha sonra standart atmosfer koşullarında asılarak bırakılan numunelerin ağırlıkları tekrar kuru ağırlığa ulaşınca kadar 30'ar dakika aralıklarla ölçülerek kuruma hızları da aynı numuneler üzerinden belirlenmiştir.

**c. Batma Testi:** Test AATCC 79 Metod B standardına göre 5x5 cm boyutlarındaki kumaşların 500 mL saf su içeren behere 1 cm yükseklikten bırakılmasıyla ıslanıp tamamen hava boşluklarının suyla yer değiştirip dibe batmaları için gereken süre kaydedilmiştir. Su emiciliği yüksek olan kumaşın batma süresi hızlı olmaktadır. Emicilik, batma süresi 0-50 s arasında ise iyi, 50-100 s ise orta ve 100 s'den fazlaysa kötü kabul edilmektedir.

**d. Nem Yönetimi Testi (MMT Testi):** Kumaş içerisinde sıvının absorpsiyonu ve farklı doğrultulardaki transferi genel olarak kumaşın nem yönetim (moisture management) performansı olarak adlandırılır. Bu çalışmada da ham ve işlem uygulanmış kumaşların testinde kullanılan Nem Yönetimi Test Cihazı (MMT), sıvının kumaş içerisinde bulunmasıyla kumaşın temas elektriksel direncinin değişeceği esasına göre çalışmaktadır. MMT'de gerçekleştirilebilen ölçümler sonucu elde edilen parametreler şunlardır [30] :

**Emilim Oranı (Alt ve üst) (%/s):** Test sırasında üst ve alt katmanlar için sıvının emilme hızıdır.

**Kümülatif tek yönlü taşıma endeksi (AOTI) (%)**: Numunenin alt ve üst katmanlarının zamana göre sıvı içeriği grafikleri altında kalan alanlar arasındaki farktır.

**Maksimum ıslak daire yarıçapı (mm) (Alt ve üst):** Alt ve üst katmanlarda tespit edilen sıvı yayılımının maksimum çapıdır. (yayılım genelde dairesel olmaz).

**Nem yönetim performansı (OMMC):** Alt katmanın emicilik oranı, tek yönlü transport kapasitesi ve alt katmandaki maksimum yayılma hızına bağlı olarak hesaplanır.

**Yayılma hızı (mm/s)(Alt ve üst):** Numuneye sıvı damlatıldıktan maksimum çapa ulaşınca kadarki yüzey ıslanma oranıdır.

**Toplam Sıvı İçeriği (%):** Alt ve üst katmanların yüzey sıvı içerikleri toplamıdır.

**Islanma süresi (s) (Alt ve üst) :** Testin başlangıcından itibaren alt ve üst katmanların ıslanmaya başlamaları için geçen süredir [30].

Cihazda üst yüzey, giysi giyildiğinde insan vücudunun derisine yakın olan kısmı; alt yüzey ise dış çevreye yakın olan kısmı simüle etmektedir. MMT'de kumaşların ıslanma süresi (üst-alt), Emilim oranı (üst-alt), maksimum ıslak daire yarıçapı (üst-alt), ıslanma hızı (üst-alt), kümülatif tek yönlü taşıma endeksi ve genel sıvı yönetim performansı ölçülmektedir [31]. Tablo 1'de MMT'de ölçülen parametreler ve skala değerleri verilmiştir.

**Tablo 1.** MMT test sonuçları değerlendirme skalası (SDL Atlas Nem Yönetim Cihazı test kataloğu)

İndisler		Derece		Skala				
		1	2	3	4	5		
Islanma süresi (s)	üst	≥120	20-119	5-19	3-5	<3		
	alt	ıslanma yok	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Emilim oranı (%/s)	üst	≥120	20-119	5-19	3-5	<3		
	alt	ıslanma yok	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Maksimum ıslak daire yarıçapı (mm)	üst	0-9	10-29	30-49	50-100	>100		
	alt	çok yavaş	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Islanma Hızı (mm/s)	üst	0-9	10-29	30-49	50-100	>100		
	alt	çok yavaş	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Kümülatif tek yönlü taşıma endeksi (%)	üst	0-7	8-12	13-17	18-22	>22		
	alt	ıslanma yok	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Nem yönetim performansı	üst	0,0-0,9	1,0-1,9	2,0-2,9	3,0-4,0	>4,0		
	alt	çok yavaş	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Kümülatif tek yönlü taşıma endeksi (%)	üst	0,0-0,9	1,0-1,9	2,0-2,9	3,0-4,0	>4,0		
	alt	çok yavaş	yavaş	orta	hızlı	çok hızlı		
Kümülatif tek yönlü taşıma endeksi (%)	üst	<-50	-50-99	100-199	200-400	>400		
	alt	çok kötü	kötü	iyi	çok iyi	mükemmel		
Nem yönetim performansı	üst	0,0-0,19	0,2-0,39	0,4-0,59	0,6-0,8	>0,8		
	alt	çok kötü	kötü	iyi	çok iyi	mükemmel		

Bu çalışmada, ham ve mikrokapsül uygulanan kumaş numuneleri üzerinde MMT ile yapılan sıvı ayar mekanizması ölçümlerinde, tekrarlanabilir sonuçlar veren ıslanma süresi (alt ve üst), ıslanma hızı (alt ve üst), maksimum ıslanma yarıçapı (alt ve üst) ve genel nem yönetimi parametreleri seçilmiştir.

Numuneler tüm testlerden önce standart atmosfer koşullarında (20 °C±2, % 65±2 bağıl nem) kondisyonlanmış ve testler kondisyonlu ortamda gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 10 test tekrarı gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Verilerin analizi için IBM SPSS Statistics 21.0 programı kullanılmış, kumaşlar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının kontrolü için % 95 güven aralığı için ANOVA Testi, Duncan Çoklu Dağılım Testleri yapılmıştır.

### 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliği

Mikrokapsüllerin duvar yapısına ilave edilen ZnO nano parçacıkların kumaşlara güç tutuşurluk özelliği kazandırıp kazandırmadığını tayin etmek amacıyla 45° eğimli güç tutuşurluk testi uygulanmıştır. Güç tutuşurluk testi ile mikrokapsül uygulanmış numune ve uygulanmamış ham kumaşların tutuşma ve yanma süreleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Test sırasında kumaş yüzeyinde tutuşmanın başlaması için gerekli alev temas süresi ile numunenin alev ile temasından itibaren tamamen yanması için gereken süre kaydedilmiştir. Tablo 2’de Kitosan/AZamk/NZnO ve Jelatin/ AZamk/NZnO mikrokapsüllerin uygulandığı kumaş numunelerinin güç tutuşurluk test sonuçları verilmektedir.

Tabloya göre, referans pamuklu kumaşın tutuşması için alevin kumaşa ortalama 7,16 saniye temas ettirilmesi gerekirken, emdirme metodu ile Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış pamuklu kumaşın tutuşması için 9 saniye, Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış pamuklu kumaşın tutuşması için ise 7,71 saniye gerekli olmuştur. Kumaşların tutuşmaya başladıktan sonraki yanma sürelerine bakıldığında süre, referans kumaş için 26,73 saniye, Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş için 32,75 ve Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş için 34,81 saniye olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, kumaşa uygulanan organik esaslı mikrokapsül materyallerinin özellikle parafinin yanıcı özelliğine rağmen mikrokapsül uygulanmış kumaşların güç tutuşurluk özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Bu sonuç, mikrokapsül ve dolayısıyla kumaşın yapısındaki ZnO nano partiküllerden kaynaklanmaktadır [33, 34] ve duvar yapısına nano kil ilave edilerek üretilen mikrokapsüllemiş parafinler içeren pamuklu kumaşlar için elde edilen sonuçlar ile uyumludur [24].

**Tablo 2.** Pamuklu kumaşlara ait güç tutuşurluk test sonuçları

Kumaş	Ortalama tutuşma süresi (s)	Ortalama yanma süresi (s)
Ham Kumaş	7,16 (*1,32)	26,73 (*2,47)
Kitosan/AZamk/NZnO-Kumaş	9,00 (*0,00)	32,75 (*0,97)
Jelatin/AZamk/NZnO-Kumaş	7,71 (*0,75)	34,81 (*2,68)

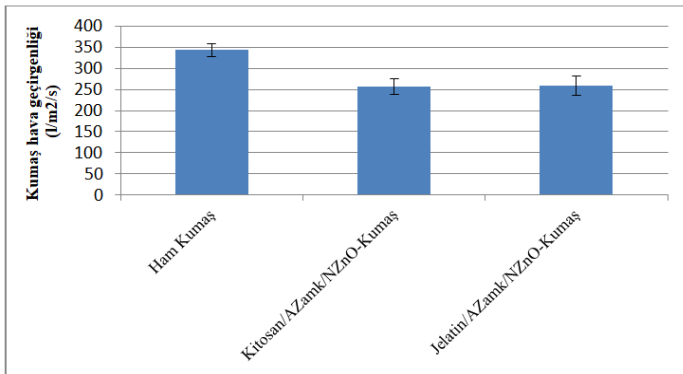
(\*) Standart Sapma

### 3.2. Kumaşların Antibakteriyel Aktivitesi

ASTM E2149 test yöntemine göre, *Staphylococcus aureus* (Gram (+)pozitif kok) (ATCC 6538)<sup>a</sup> bakterisine ve *Escherichia coli* (Gram (-) negatif basil) (ATCC 35218)<sup>b</sup> bakterisine karşı belirlenen kumaş antibakteriyel aktivite test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde, 24 saatlik test süresi sonunda mikrokapsül uygulanmış her iki kumaş örneğinin de gram-pozitif *Staphylococcus aureus* bakterisine karşı kabul edilebilir antibakteriyel etkinliğe sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte mikrokapsül uygulanmamış referans ham kumaş örneğinin de gram-pozitif bakteriye karşı antibakteriyel aktivite sergilediği belirlenmiştir. Bu durumun kumaş üzerindeki ağartma maddesi gibi ön terbiye kalıntılarında kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ancak kumaşların gram-negatif *Escherichia coli* bakterisine karşı antibakteriyel aktivite göstermedikleri belirlenmiştir. Bu durum üretilen mikrokapsüllerin kendisinin de bu bakteriye karşı düşük antibakteriyel aktivite sergilemesinden kaynaklanmaktadır [29].

### 3.3. Hava Geçirgenliği Test Sonuçları

Kitosan/AZamk/NZnO ve Jelatin/AZamk/NZnO uygulanmış pamuklu kumaşlar ile mikrokapsül uygulanmamış referans pamuklu kumaşa ait hava geçirgenlik test sonuçları Şekil 1'de verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, önceki çalışmalarla [14, 16]'da uyumlu olarak mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerleri istatistiksel olarak anlamlı derecede ( $p < 0,05$ ) azalmıştır. İki farklı türde mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerleri arasındaki farklar ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p > 0,05$ ). Kumaşların hava ve su buharı geçirgenliği etkileyen faktörler arasında kumaş yapısı, kumaş kalınlığı, gözeneklilik ve gözenek boyutları (kumaş yüzey özellikleri) yer almaktadır. Mikrokapsül uygulaması sonrası mikrokapsüllerin kumaş yüzeyinde lifler arası boşluklara ve lif yüzeylerine tutundukları görülmektedir [29]. Mikrokapsüllerin kumaş yüzeyindeki yerleşimi ve lifler arasındaki hava geçirgenliğini sağlayan boşlukları doldurması sonucu kumaş hava geçirgenliği azalmaktadır [11,16, 22].

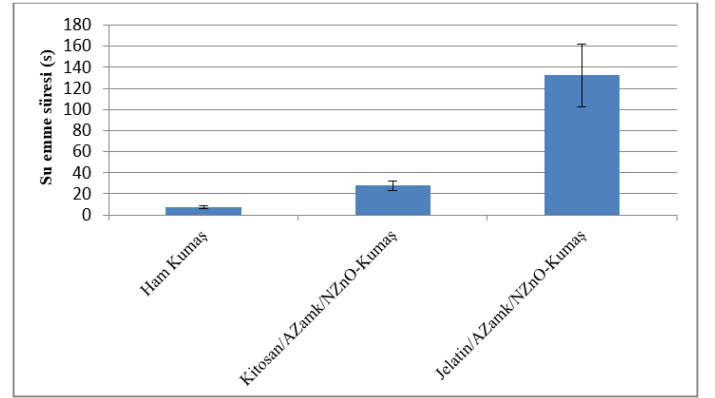


Şekil 1. Kumaş hava geçirgenlik test sonuçları

### 3.4. Sıvı Emme ve Transfer Test Sonuçları

Bu bölümde, kumaşların mikrokapsül uygulaması sonrası su emme ve sıvı transfer özelliklerindeki değişimi belirlemek için

uygulanan test sonuçlarına yer verilmiştir. Şekil 2'de mikrokapsül uygulanmamış ham kumaş, Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş ve Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşa ait damla test sonuçları verilmiştir. Mikrokapsül uygulaması sonrası kumaşların su emme sürelerinin ham kumaşa göre anlamlı düzeyde arttığı, yani ıslanmanın zorlaştığı tespit edilmiştir. Özellikle jelatin/Arap zıncı duvarlı mikrokapsüllerin uygulandığı kumaşın ıslanma özelliği Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşa göre de anlamlı seviyede azalmış, ( $p < 0,05$ ) ve kumaş hidrofob karakter kazanmıştır.

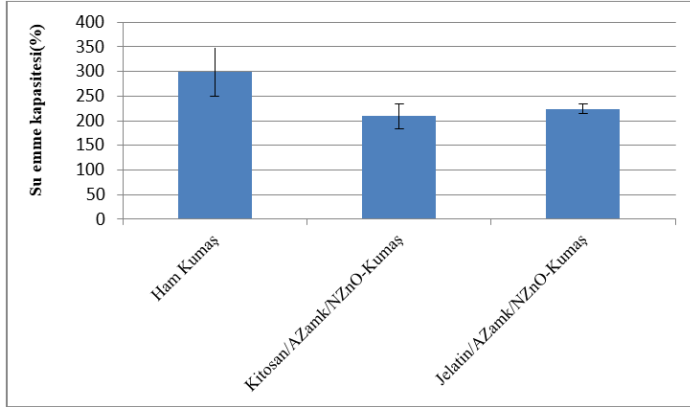


Şekil 2. Su emme süresi (damla) test sonuçları

Kumaşların sıvı emme kapasitesi test sonuçları incelendiğinde (Şekil 3), mikrokapsül uygulaması sonrası kumaşların su emme kapasitelerinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p < 0,05$ ) azaldığı tespit edilmiştir. Ancak kapsül uygulanmış kumaşların kendi aralarındaki su emicilik özellikleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli değildir.

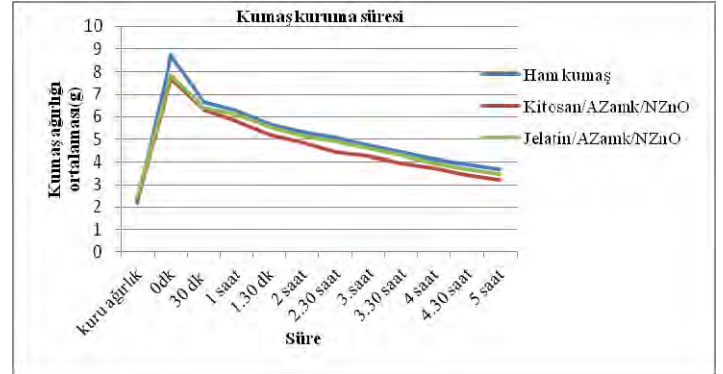
Kumaşlara ait su emme süresi ve su emme kapasitesi test sonuçları değerlendirildiğinde, mikrokapsül uygulamasının kumaşların ıslanma ve su emme özelliklerini negatif yönde etkilediği görülmektedir. Lif ve iplik yüzeylerini kaplayan mikrokapsül uygulamasının sıvının lif yüzeyinden nüfuzunu ve lifin sıvı alma kapasitesini azaltması, sıvı emicilik süreleri ile de uyumlu ve beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte, mikrokapsül uygulaması sonrası kumaş ıslanma davranışının değişiminin apliedilen mikrokapsül duvar polimeri, mikrokapsül uygulaması sırasında kullanılan binder (TanaPur One, Tanatex Chemicals), yumuşatıcı (Perrustol VNO, Rudolf Duraner) gibi kimyasal maddelerinin hidrofob/hidrofil karakterleri ile de ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çapraz bağlayıcı binder olarak kullanılan TanaPur One hidrofob karakterli poliüretan esaslı çapraz bağlayıcı olup kumaşın hidrofob karakterini artırma eğilimi göstermektedir. Ancak yumuşatıcı hidrofob karakterli olup, mikrokapsül uygulanmış kumaşların ıslanma özelliğindeki gerilemenin esas nedenidir. Farklı tür mikrokapsüllerin uygulandığı kumaşların su emme özelliğindeki farklılığın ise mikrokapsül duvarını oluşturan polimer özellikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde mevcut araştırmalarda kumaşların su buharı geçirgenliği ve nem tutma özelliklerinin mikrokapsül duvar polimerinin ve mikrokapsül uygulamasında

kullanılan binderin hidrofik karakteri ile ilişkili olduğu belirtilmiş olup, elde edilen bu bulgu literatür bulguları ile uyumludur [11,22].



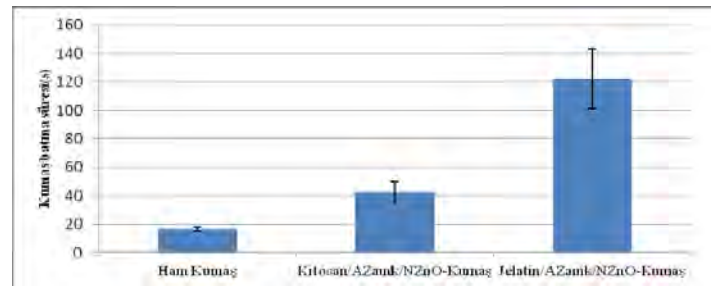
Şekil 3. Kumaşlara ait su emme kapasitesi test sonuçları

Şekil 4'te sırasıyla ham kumaş, Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş ve Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşa ait kuruma süresi testi sonuçları verilmiştir. Grafiklerde su emme testine tabi tutulan kumaşların asılarak kurutmaya bırakıldıktan sonra belirli zaman aralıklarında ölçülen ağırlık değerlerinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Teste, kumaş örnekleri referans kuru numune ağırlığına yaklaşıncaya kadar yaklaşık 5 saat kadar devam edilmiştir. Şekiller incelendiğinde 5 saatlik test süresi sonunda ham kumaş başlangıçtaki ağırlığının % 42'sini, Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış %43'ünü ve Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş % 44'ünü kaybetmiştir. Bu değerlere göre kumaşların kuruma hızları arasında fark olmadığını söylemek mümkün olacaktır. Benzer şekilde kumaşların kuruma sırasındaki zamana bağlı ağırlık kaybı değerleri genellikle lineer olarak azalma göstermektedir.



Şekil 4. Kumaş kuruma testi sonuçları

Şekil 5'te ham kumaş ve mikrokapsül uygulanmış kumaşlara ait batma testi sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde su yüzeyine bırakılan kumaşların suyun içine tamamen batması için geçen süre ham kumaş için ortalama 16,6 saniye iken Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş için ortalama 42,46 saniye, Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş için ise ortalama 126,02 saniye olarak belirlenmiştir. Tüm kumaşların performansları aralarındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır. Kumaşlar içerisindeki sıvı transferi hakkında fikir veren batma testi sonuçları, damla test sonuçları ile de uyumludur.



Şekil 5. Kumaşlara ait batma süresi test sonuçları

Tablo 3. ASTM 2149 test yöntemi göre *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538)<sup>a</sup> a karşı antibakteriyel etkinlik değerleri

Bakteri	Numune	1 saat		3 saat		24 saat	
		(%)	log	(%)	log	(%)	Log
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ham Kumaş	-40,37	-0,22	-71,33	-0,54	-71,79	-0,55
	Jelatin/AZamk/NZnO-Kumaş	-71,56	-0,55	-72,25	-0,56	-98,58	-1,85
	Kitosan/AZamk/NZnO-Kumaş	-65,14	-0,46	-65,83	-0,47	-99,45	-2,26
<i>Escherichia coli</i>	Ham Kumaş	-	-	-5,33	-0,02	-14,71	-0,07
	Jelatin/AZamk/NZnO-Kumaş	-	-	-8,89	-0,04	-10,22	-0,05
	Kitosan/AZamk/NZnO-Kumaş	-	-	-2,67	-0,01	-4,89	-0,02

<sup>a</sup> 1 gram ağırlığındaki her bir örneğe aktarılan bakteri konsantrasyonu  $4,61 \times 10^5$  (log 5,66) cfu\*/ml olarak hesaplanmıştır.

<sup>b</sup> 1 gram ağırlığındaki her bir örneğe aktarılan bakteri konsantrasyonu  $5,11 \times 10^5$  (log 5,71) cfu\*/ml olarak hesaplanmıştır.

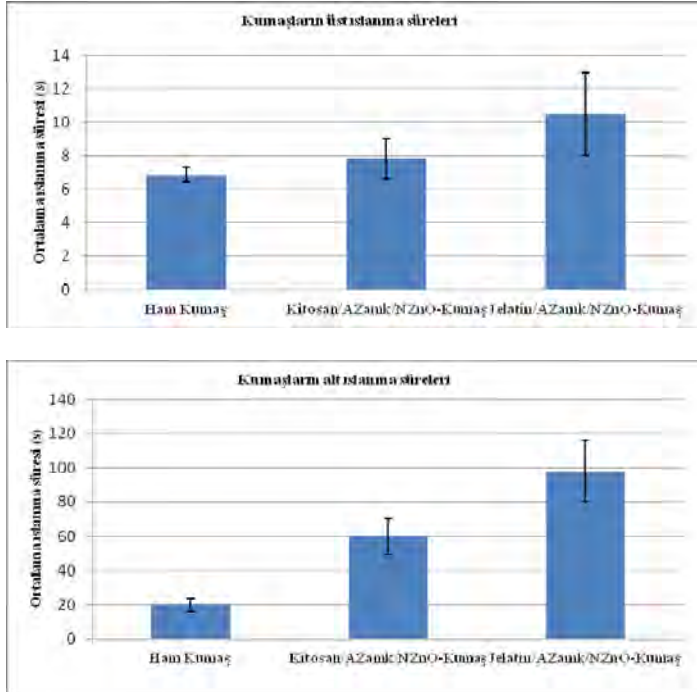
\* cfu : Koloni oluşturan birim.

Not: (+) olarak verilen % bakteri değerleri, bakteri sayısında artışı, (-) olarak verilen % bakteri değerleri ise bakteri sayısında azalmayı göstermektedir. (-)100 değeri, yüzey üzerinde bulunan tüm bakterin öldüğünü belirtmektedir.

### 3.5. Kumaş nem yönetim (MMT) testi sonuçları

Ham kumaş, Kitosan/AZamk/NZnO ve Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsül uygulamış kumaşların sıvı yönetim özellikleri Nem Yönetim Cihazı (MMT) kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan ölçüm sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilen MMT test sonuçları değerlendirme skalası kullanılarak değerlendirilmiştir.

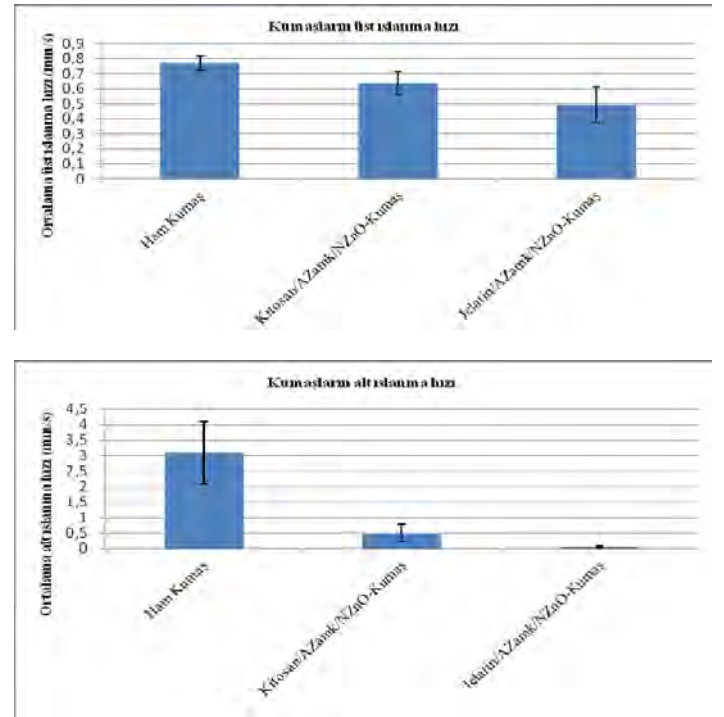
MMT’de ölçülen ıslanma süresi, malzemenin sıvı tarafından ne kadar hızlı veya yavaş ıslatıldığını ifade eder. Manuel olarak yapılan damla testi ile aynı prensibe sahip olan ıslanma süresi testinde süre ne kadar kısa olursa sıvı, malzeme tarafından daha kolay ve hızlı emilmektedir. Şekil 6’da kumaşların üst ve alt ıslanma süreleri verilmiştir. Üst ıslanma süreleri sonuçlarına uygulanan varyans analizi sonucunda, üst ıslanma süresi için damla testinden farklı olarak Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşın ham kumaşla istatistiksel olarak aynı performansı gösterdiği, Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşın ise bu kumaşlardan istatistiksel olarak anlamlı ve daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, kumaşların üst yüzeyinde ıslanma süresi en yüksek olan kumaş 10,49 s ile Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülünün uygulandığı kumaştır. Ancak üç kumaş örneği için de üst ıslanma süresi MMT skala değeri orta (3) olarak ölçülmüştür. Alt yüzey ıslanma süreleri ise damla test sonucuyla uyumlu olarak ham kumaştan Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşa doğru artmış ve tüm farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p < 0,05$ ). Alt yüzey için ham kumaşa ait alt ıslanma süresi hızı MMT skala değeri 3 (orta) iken Jelatin/AZamk/NZnO ve Kitosan/AZamk/NZnO alt ıslanma süreleri MMT skala değeri 2 (yavaş)’tır.



Şekil 6. Kumaşların üst ve alt ıslanma sürelerinin karşılaştırılması

Kumaşların üst ve alt yüzeylerine ait ıslanma hızı değerleri Şekil 7’de gösterilmiştir. ıslanma hızı, merkezden maksimum ıslanma

halkasına kümülatif yayılma hızı olarak tanımlanır. Üst ıslanma hızı değerlerine varyans analizi uygulandığında, sıvının kumaş içerisindeki transferi hakkında bilgi veren batma süresi sonuçlarıyla da uyumlu olarak mikrokapsül uygulamasının sıvının ilerlemesini yavaşlattığı, mikrokapsül uygulanmış iki kumaş arasındaki farkların da anlamlı olduğu ve Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşın sıvıyı en yavaş ileten kumaş olduğu tespit edilmiştir. Ham kumaş, Jelatin/AZamk/NZnO ve Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşlara ait üst ıslanma hızı değerleri çok yavaş ve MMT skala değeri 1’dir. Jelatin/AZamk/NZnO ve Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşa alt ıslanma hızı çok yavaş ve MMT skala değeri 1’dir. Ham kumaşın alt yüzeyinin ıslanması hızlıdır ve MMT skala değeri 4’tür. Alt ıslanma hızı sonuçları analiz edildiğinde, her iki mikrokapsül uygulamasının da birbirleriyle uyumlu şekilde ıslanma hızını anlamlı düzeyde düşürdüğü (MMT skala değeri olarak 1) gözlenmiştir.

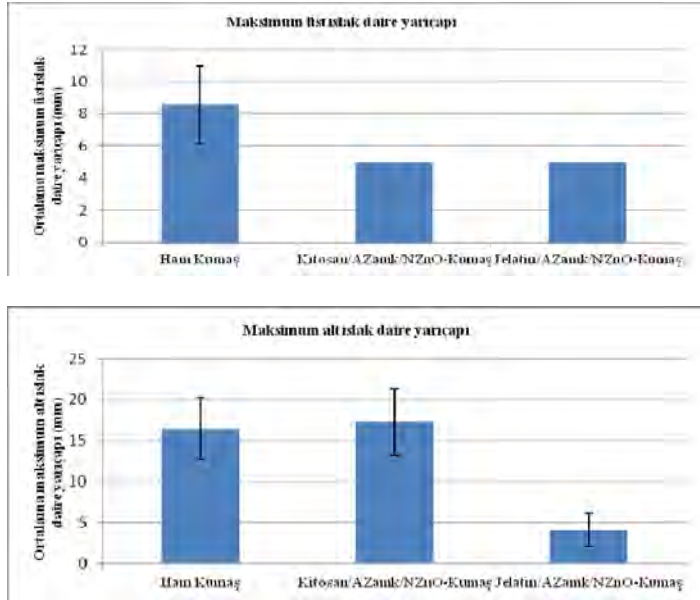


Şekil 7. Kumaşların üst ve alt ıslanma hızı değerleri

Sıvının kumaş yüzeylerinde ne kadar alana yayılabildiğinin, dolayısıyla da kuruma yüzeyi ve sıvının vücuttan uzaklaştırılabilme kapasitesinin bir göstergesi olan ıslanma yarıçapı sonuçları incelendiğinde, mikrokapsül uygulamalarının benzer performans göstererek bu değerleri de ham kumaşa göre anlamlı düzeyde düşürdüğü tespit edilmiştir (Şekil 8). Kumaşın alt yüzeyinde ise Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşın, üst ıslanma süresi ve alt ıslanma hızı sonuçlarıyla uyumlu şekilde ham kumaşla istatistiksel olarak benzer performans gösterdiği, Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşın ise sıvının daha dar bir alana yayılmasına, dolayısıyla da daha zor vücuttan uzaklaştırılabilmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaşın maksimum üst daire yarıçapına göre herhangi bir ıslanma olmadığı ve skala değerinin 1 olduğu tespit edilmiştir. Ham kumaş ve

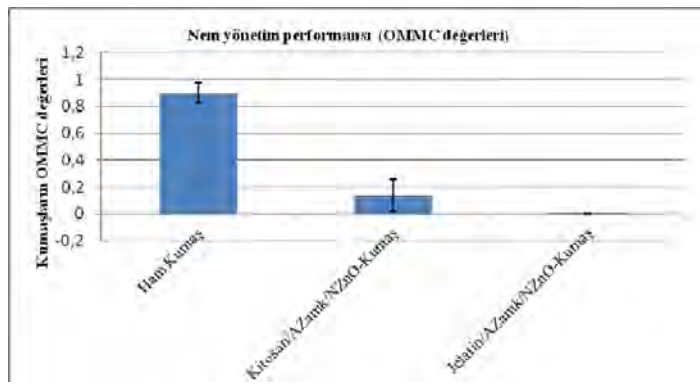


Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş maksimum alt daire yarı çapı orta ve MMT skala değeri 3'dir. Ham kumaş ve Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş istatistiksel olarak aynı gruptadır, fakat Jelatin/AZamk/NZnO mikrokapsülü uygulanmış kumaş ise istatistiksel olarak farklı grupta bulunmaktadır.



Şekil 8. Kumaşların üst ve alt maksimum ıslak daire yarıçap değerleri

Kumaşın sıvı nem transferini yönetme kabiliyetinin göstergesi olan nem yönetim performansı (OMMC) değeri ölçüm sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Tablo 1'de verilen MMT test sonuçları skala değerlerine göre, OMMC ham kumaş için mükemmel (skala değeri 5) iken mikrokapsül uygulanmış kumaşlar için çok kötü (skala değeri 1) olarak belirlenmiştir. Kumaşların genel nem yönetim performansı değerleri incelendiğinde, mikrokapsül uygulamasının, kumaşın sıvı emicilik ve transfer davranışlarını genel olarak negatif yönde etkilediği, fakat bu negatif etkinin Kitosan/AZamk/NZnO mikrokapsülü için daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9). Bu bulgu kumaşların sıvı emme ve sıvı transfer özelliklerinin ölçüldüğü su emme süresi ve batma süresi test sonuçları ile uyumludur.



Şekil 9. Kumaşların genel nem yönetim performansı değerlerinin karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gizli ısı depolama ve yayma özellikli ve ZnO nano parçacıkları ile takviye edilmiş kitosan/aram zamkı ve jelatin/aram zamkı duvarlı mikrokapsüller pamuklu kumaşa applike edilmiş ve kumaşların fonksiyonel özelliklerine ilave olarak termofizyolojik konfor ile ilişkili sıvı transfer özellikleri araştırılmıştır.

Kumaşlara uygulanan mikrokapsüllerin duvar yapılarına ilave edilen ZnO nano parçacıklar sayesinde kumaşlara güç tutuşurluk ve antibakteriyel özellik kazandırılması beklenmektedir. Bu amaçla mikrokapsüllerin uygulandığı kumaşlar ve kapsül uygulanmamış referans kumaşın yanma davranışları ve antibakteriyel aktivite özellikleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Güç tutuşurluk test sonuçlarına göre, kumaşların tutuşması için gerekli alev temas sürelerinde önemli bir artış gözlenmez iken tutuşma sonrası yanmanın tamamlanması için gereken sürenin arttığı yani kapsül varlığının kumaş yanmasını yavaşlattığı sonucuna ulaşılmıştır. Mikrokapsüllerin yapısında barındırdıkları parafinlerin (gizli ısı depolama, faz değiştirme maddeleri) yüksek yanma eğilimine rağmen kumaşların yanma eğilimlerinin azalması mikrokapsül yapısındaki ZnO varlığının etkisi olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, mikrokapsül yapısına ilave edilen ZnO nano parçacıkların kumaşlara gram- pozitif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite kazandırdığı belirlenmiştir.

Çalışmada, mikrokapsüllerin kumaşa bitim işlemi ile uygulaması sonucunda kumaşların konfor özellikleri ile ilişkili hava geçirgenlik, su emme, ıslanma ve kuruma gibi özellikleri de araştırılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda mikrokapsül uygulamasının kumaşların su emicilik, sıvı transfer ve hava geçirgenlik özelliklerini önemli seviyede azalttığı belirlenmiştir. Mikrokapsül duvar yapısında kitosan polimeri kullanıldığı durumda jelatin polimeri kullanılması durumuna göre kumaş su emme ve transfer özelliklerinin daha az olumsuz değişime maruz kalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, kumaşların su emicilik ve transfer özelliklerindeki gerilemenin kullanılan binder, yumuşatıcı ve mikrokapsül duvar polimeri türü ile ilişkili olduğu, hidrofil karakterli binder ve yumuşatıcı seçilerek sıvı transfer özelliklerinin geliştirilebileceği tespit edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar finansal desteğinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

#### KAYNAKLAR

1. Kaplan, S., Okur, A., (2008), The Meaning and Importance of Clothing Comfort and Sensory Descriptors Used to Describe Discomfort: A Case Study for Turkey, Journal of Sensory Studies, 23, 688 - 706.
2. Özdil, N., Marmaralı, A., Dönmez, S., & Kretschmar, D., (2007), Effect of Yarn Properties on Thermal Comfort of Knitted Fabrics, International Journal of Thermal Sciences, 46, 1318-1322.

3. Wong, A. S. W., Li, Y., & Yeung, P. K. W., (2003), Neural Network Predictions of Human Psychological Perceptions of Clothing Sensory Comfort, *Textile Research Journal*, 73, 31–37.
4. Öner, E., Okur, A., (2010), Materyal, Üretim Teknolojisi ve Kumaş Yapısının Termal Konfora Etkileri, *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, 17(80), 20-29.
5. Mondal, S., & Hu, J. L., (2006), Temperature Stimulating Shape Memory Polyurethane for Smart Clothing, *Indian Journal Fibre and Textile Research*, 31, 66-71.
6. Mondal, S., & Hu, J. L., (2007), Water Vapor Permeability of Cotton Fabrics Coated with Shape Memory Polyurethane, *Carbohydrate polymers*, 67(3), 282-287.
7. Korkmaz-Memiş, N., Kaplan, S., (2018a), Şekil Hafızalı Polimerler ve Tekstil Uygulamaları, *Tekstil ve Mühendis*, 25(111), 264-283.
8. Korkmaz-Memiş, N., Kaplan, S., (2018b), Selüloz Nanokristalit (Nanowhisker) İçeren Sıcaklık-Su Duyarlı Poliüretan Nanokompozit Filmlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, *Tekstil ve Mühendis*, 25: 109, 9-21.
9. Choi, K., Cho, G., Kim, P., & Cho, C., (2004), Thermal Storage/Release and Mechanical Properties of Phase Change Materials on Polyester Fabrics, *Textile Research Journal*, 74, 292–296.
10. Kim, J., & Cho, G., (2002), Thermal Storage/Release, Durability, and Temperature Sensing Properties of Thermostatic Fabrics Treated with Octadecane-containing Microcapsules, *Textile Research Journal*, 72, 1093–1098.
11. Shin, Y., Yoo, D., & Son, K., (2005), Development of Thermoregulating Textile Materials with Microencapsulated Phase Change Materials (PCM). IV. Performance Properties and Hand of Fabrics Treated with PCM Microcapsules, *Journal of Applied Polymer Science*, 97, 910–915.
12. Pause, B. H., (1997), Development of New Cold Protective Clothing with Phase Change Material. In *Proceedings of The International Conference on Safety and Protective Fabrics*, November 16–20, Stockholm, Sweden, pp. 18:99–18:100.
13. Pause, B., (2003), Nonwoven Protective Garments with Thermoregulating Properties, *Journal of Industrial Textiles*, 33, 93–99.
14. Salaün, F., Devaux, E., Bourbigot, S., & Rumeau, P., (2010), Thermoregulating Response of Cotton Fabric Containing Microencapsulated Phase Change Materials, *Thermochimica Acta*, 506, 82–93.
15. Sánchez, P., Sánchez-Fernandez, M. V., Romero, A. Rodríguez, J. F., & Sánchez-Silva, L., (2010), Development of Thermoregulating Textiles Using Paraffin Wax Microcapsules, *Thermochimica Acta*, 498, 16–21.
16. Tözüm, M.S., and Alay-Aksoy, S., (2016), Investigation of Tactile Comfort Properties of The Fabrics Treated with Microcapsules Containing Phase Change Materials (PCMs Microcapsules), *The Journal of Textile Institute*, 107(9), 1203-1212.
17. Alay-Aksoy, S., Alkan, C., Tözüm, M.S., Demirbağ, S., Altun-Anayurt, R., Ulçay, Y., (2017), Preparation and Textile Application of Poly(methyl methacrylate-co-methacrylic acid)/n-Octadecane and n-Eicosane Microcapsules, *The Journal of Textile Institute*, 108 (1), 30-41.
18. Mattila, H.R., (2006), *Intelligent Textiles and Clothing*, Woodhead Publishing Limited, 506p. Cambridge.
19. Wang, S. X., Li, Y., Tokura, H., Hu, J. Y., Kwok, Y. L., & Au, R., (2008), Effect of Phase Change Materials on Temperature and Moisture Distributions In Clothing During Exercise In Cold Environment, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 1(1), 29-40.
20. Wang, X., Hu, H., Yang, Z., He, L., Kong, Y., Fei, B., & Xin, J. H., (2014), Smart Hydrogel-Functionalized Textile System with Moisture Management Property For Skin Application, *Smart materials and structures*, 23(12), 125027.
21. Shaid, A., Fergusson, M., & Wang, L., (2014), Thermophysiological Comfort Analysis of Aerogel Nanoparticle Incorporated Fabric For Fire Fighter's Protective Clothing, *Chemical and Materials Engineering*, 2(2), 37-43.
22. Alay, S., Alkan, C., Göde, F., (2012), Steady State Thermal Comfort Properties of The Fabrics Incorporating Microencapsulated Phase Change Materials, *The Journal of The Textile Institute*, 103(7), 757-765.
23. Choi, K., & Cho, G., (2011), Physical and Mechanical Properties of Thermostatic Fabrics Treated with Nanoencapsulated Phase Change Materials, *Journal of Applied Polymer Science*, 121, 3238–3245.
24. Demirbağ, S., Alay-Aksoy, S., (2016), Encapsulation of Phase Change Materials by Complex Coacervation to Improve Thermal Performances and Flame Retardant Properties of The Cotton Fabrics, *Fibers and Polymers*, Vol.17, No.3, 408-417.
25. Genç, E., Alay Aksoy, S., (2016), Fabrication of Microencapsulated PCMs With Nanoclay Doped Chitosan Shell and Their Application To Cotton Fabric, *Tekstil & Konfeksiyon*, 26(2), 180-188.
26. Safavi, A., Amani-Tehran, M., & Latifi, M., (2015), A New Approach to The Oretical Modeling of Heat Transfer Through Fibrous Layers Incorporated with Microcapsules of Phase Change Materials, *Thermochimica Acta*, 604, 24-32.
27. Fengzhi, L., & Yi, L., (2007), A Computational Analysis for Effects of Fibre Hygroscopicity on Heat and Moisture Transfer in Textiles with PCM Microcapsules, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 15(3), 223.
28. Li, Y., & Zhu, Q., (2004), A Model of Heat and Moisture Transfer in Porous Textiles with Phase Change Materials, *Textile Research Journal*, 74(5), 447-457
29. Cengiz, Ö.F., Erkale, İ., Özkayalar, S., Alay-Aksoy, Boyacı B., (2018), Nano Çinko Oksit Takviyeli Jelatin/Arap Zamkı ve Kitosan/Arap Zamkından Üretilen ve N-Oktadekan İçeren Mikrokapsüllerin Karakterizasyonu ve Tekstil Uygulaması, *Tekstil ve Mühendis*, 25: 110, 86-95.
30. MMT Operation Manual, 2005.
31. Taştan-Özkan, E., Meriç-Kaplangiray, B., (2015), Askeri Giyimde Kullanılan Dokuma Kumaşların Nem İletimi Özelliklerinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(1), 51-63.
32. SDL Atlas Nem Yönetim Cihazı test kataloğu
33. Lam, Y. L., Kan, C. W., & Yuen, C. W. M., (2011), Effect of Zinc Oxide on Flame Retardant Finishing of Plasma Pre-treated Cotton Fabric, *Cellulose*, 18(1), 151-165.
34. El-Hady, M. A., Farouk, A., & Sharaf, S., (2013), Flame Retardancy and UV Protection of Cotton Based Fabrics Using Nano ZnO and Polycarboxylic Acids, *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 400-406.